SUSCEPTIBILIDADE AOS PROCESSOS EROSIVOS SUPERFICIAIS COM BASE NA DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA NA MICROBACIA DO RIO GRANGEIRO, CRATO/CE[1]

Simone Cardoso RIBEIRO [2]
Antonio José Teixeira GUERRA [3]

RESUMO

O estudo da dinâmica da paisagem enfocando os processos erosivos como produto do desequilíbrio do sistema físico-ambiental, tendo a bacia hidrográfica como unidade básica para compreensão desta evolução morfológica, é a temática do presente estudo, que utilizou a microbacia do rio Grangeiro, no município do Crato (CE) como área de trabalho. Esta escolha deveu-se à importância desta microbacia no contexto municipal, além de sua representatividade como ambiente em desequilíbrio devido a mudanças na dissipação de energia em seu sistema, ocasionadas pelas transformações no uso-ocupação do solo em seu território. Esta microbacia percorre áreas da encosta norte-nordeste da Chapada do Araripe, sul do Estado do Ceará, e apresenta variações significativas quanto a altimetria, às declividades e cobertura do solo, apesar de se encontrar em terrenos sedimentares da Bacia Sedimentar do Araripe, com poucas diferenças litológicas. Para a identificação e mapeamento das classes de susceptibilidade natural aos processos erosivos superficiais, foram elaborados mapas temáticos dos parâmetros relacionados à concentração e rapidez de fluxos e às características dos materiais constituintes da superfície (unidades de vertente, forma da encosta, declividades e erodibilidade dos materiais superficiais). Estes mapas foram geoprocessados em um Sistema de Informação Geográfica (Arc View), produzindo, a partir de álgebra cartográfica, um mapa de susceptibilidade que avaliou cada parâmetro dentro de uma escala de influência para o processo erosivo. Foram identificadas cinco classes de susceptibilidade e analisadas em seu contexto físico-ambiental. A partir desta classificação, foram feitas considerações sobre a influência das mudanças no uso-ocupação do solo sobre a dinâmica destes sistemas, em especial o papel do Estado em regulamentar e organizar seu território de acordo com o potencial de sustentação ambiental deste.

INTRODUÇÃO

Uma das principais preocupações neste início de século refere-se à questão ambiental, vista através da compreensão dialética das relações entre homem e natureza, procurando suplantar o histórico dualismo. Nas últimas décadas tem-se acentuado o enfoque da Geografia Física como ciência global, voltando-se sobremaneira para a temática ambiental. Assim, muitos estudos têm sido feitos sobre o meio ambiente e sua dinâmica, incluindo-se aí a atuação humana sobre seus demais elementos constituintes.

Um dos processos ambientais mais negativos ao meio - natural, social e econômico - é a perda do solo por erosão. Erosão é a designação dada a todo destacamento e transporte de material do solo devido à força de um agente, resultando em nivelamento das formas da superfície. De acordo com o agente erosivo, temos processos e formas erosivas diferenciadas.

[1] Dissertação de Mestrado – UFRJ/PPGG – apresentada em julho de 2004.
[2] Universidade Regional do Cariri, Professora Mestre, simonecribeiro@yahoo.com.br.
[3] Universidade Federal do Rio de Janeiro, Professor Doutor, Orientador, antoniotguerra@gmail.com.br

O solo pode ser considerado como a principal fonte de recursos para a Humanidade, uma vez que é através dele que os nutrientes entram na cadeia alimentar. E é nele, também, onde as sociedades, mais ou menos desenvolvidas, constroem e reconstroem suas habitações, templos, unidades de produção, enfim, produzem seu *espaço social* ao longo de toda sua história. Dessa forma, o solo assume caráter primordial nos estudos ambientais. Podemos afirmar, assim, que o solo é o elemento básico para o desenvolvimento humano e econômico de qualquer sociedade, assim como fator diagnóstico da qualidade ambiental, e a melhor compreensão de seus constituintes, mecanismos de evolução e limites de renovação são essenciais para a Humanidade.

No Brasil, o processo histórico de ocupação do território aconteceu sempre de modo intensivo e com uma visão imediatista, até o limite da capacidade da terra, o que tem sido responsável por grandes problemas ambientais. Na verdade, como observa Casseti (1991), trata-se de uma postura capitalista primitivista, onde há exploração dos recursos naturais além do potencial de renovação destes. A erosão dos solos se apresenta como uma das principais conseqüências deste tipo de ocupação.

A área em estudo compreende a microbacia do rio Grangeiro, no município do Crato, sul do estado do Ceará. Esta microbacia situa-se aproximadamente entre as coordenadas geográficas 7^0 13' e 7^0 17' de latitude sul e 39^0 23' e 39^0 28' de longitude oeste. Possuindo cerca de 20,96 km^2 de área, nasce na encosta da Chapada do Araripe, a partir de ressurgências do sistema aqüífero superior em contato com o aqüiclude Santana, e deságua no Rio Batateiras, próximo à saída para Juazeiro do Norte. Em seus alto e médio cursos, percorre áreas predominantemente rurais, passando a cortar a cidade do Crato no médio-baixo curso, formando uma série de interflúvios, terraços e planícies aluviais, formando terrenos com declividades que variam de zero a mais de 45% (GUERRA e SAMPAIO, 1996).

Como afirma Botelho e Silva (2004, p. 153), a bacia hidrográfica vem sendo utilizada como célula básica para análise ambiental desde fins da década de 1960, por "*permitir reconhecer e avaliar seus diversos componentes e os processos e interações que nela ocorrem*".

O município do Crato, assim como todo o Cariri cearense, destaca-se no semi-árido nordestino, tanto por suas condições naturais mais úmidas - decorrentes principalmente do substrato geológico sedimentar que lhe propicia grande capacidade em armazenar umidade -, quanto pela concentração populacional.

Em estudos sobre a dinâmica da paisagem, Ribeiro (1997) observou que, até meados da década de 1970, a influência dos elementos naturais na paisagem do Crato/CE, era preponderante em todas as unidades fisiográficas (topo e encosta da Chapada, pediplano e serras cristalinas). Porém, a partir desta década, a paisagem da baixa encosta e do pediplano foram bastante alteradas pela entrada do capital, seja imobiliário, seja agro-industrial, ou mesmo via Estado, em seu projeto desenvolvimentista, baseado nos incentivos para a industrialização.

Às atividades historicamente forjadas a partir dos recursos naturais disponíveis - produção de rapadura e aguardente, frutas, milho, feijão e criatório extensivo -, foram impostas menores produções ou total desaparecimento, para que seus espaços de produção fossem ocupados pelas formas capitalistas de apropriação e transformação da natureza.

O processo de crescimento e adensamento dos núcleos urbanos se deu de forma generalizada no século XX, e na cidade do Crato não foi diferente. Centro regional em parceria com Juazeiro do Norte, o município do Crato apresentou um aumento populacional contínuo na segunda metade do século passado.

Este crescimento populacional fez com que houvesse, simultaneamente, aumento da área urbana, com a abertura de ruas, e a construção de condomínios e conjunto habitacionais. As principais conseqüências desta rápida mudança no uso do solo do município, foram o inchaço da área urbana e o aumento dos problemas ambientais, principalmente aqueles

relacionados com a desorganização do espaço da cidade. Tais condições são perceptíveis em vários pontos da cidade, e, em especial, na área da microbacia do rio Grangeiro que corta a cidade no sentido geral sudoeste - nordeste.

Os loteamentos de classe média e média alta começaram a proliferar com maior intensidade em meados da década de 80. Com sua expansão, desmatam grandes áreas, traçam avenidas e ruas secundárias, além da construção das casas, em detrimento da vegetação natural, contribuindo enormemente para que os processos erosivos naturais se dêem de forma mais acelerada.

Assim, em uma área de interflúvios modelados em terrenos de média a alta declividade (variando de zero a mais de 45% segundo Guerra e Sampaio, 1996), com substrato sedimentar, solos rasos a moderadamente profundos e precipitações concentradas, tem-se a substituição do uso do solo agrícola intercalado com a vegetação natural, por loteamentos, que desmatam e impermeabilizam o solo.

Considerando que os processos erosivos podem se acelerar nestas situações ambientais, e que a urbanização tende a se adensar mais nesta área, tem-se a necessidade da identificação dos graus de susceptibilidade dos terrenos da microbacia a estes processos para que o ordenamento territorial se faça em bases mais sustentáveis. Como afirma Sousa (1999), a *carta de susceptibilidade à erosão* constitui um dos produtos capazes de subsidiar a ocupação racional do território e o uso sustentável dos recursos naturais, como o solo, uma vez que é originada a partir de uma integração de dados do meio físico que afetam os processos erosivos.

A partir de estudos mais detalhados sobre a dinâmica natural da paisagem – em especial solos, relevo, cobertura vegetal – e da contribuição da ação humana sobre esta é que se vai poder traçar um melhor caminho para o uso e manejo da área de forma a impactá-la da menor forma possível. Como observa Botelho (1999), *"é preciso orientar a ocupação humana a fim de que sejam resguardadas as áreas destinadas à preservação ambiental, tendo em vista a conservação dos recursos naturais, a forte instabilidade ou fragilidade ambientais e a alta susceptibilidade à erosão e movimentos de massa que certas porções da paisagem podem apresentar".*

Assim, o trabalho ora exposto visa a identificação e o mapeamento de áreas susceptíveis aos processos erosivos superficiais na área da microbacia do rio Grangeiro, município do Crato/CE, a partir de sua dinâmica geomorfológica. Nesta dinâmica é destacada a influência dos parâmetros relacionados à concentração e rapidez de fluxos e as características dos materiais constituintes da superfície. Para tanto, objetivou-se, especificamente: a delimitação e a caracterização das unidades de vertente da área em estudo (ROSS, 1996) - topos de interflúvios, encostas e planícies fluviais – como base para a análise de processos geomorfológicos semelhantes em cada uma; a identificação de classes de erodibilidade dos solos a partir do relacionamento entre os seguintes parâmetros: textura, razão textural entre os horizontes A e B, porosidade total, teor de matéria orgânica e profundidade do solo; a identificação e o mapeamento de características das encostas (forma e declividade) para correlacioná-las com áreas de concentração/dispersão e velocidade dos fluxos superficiais; a definição de classes de susceptibilidade aos processos erosivos superficiais na área de estudo, a partir das combinações entre os componentes do meio físico (unidades de vertente, características das encostas, erodibilidade dos materiais de superfície), por cruzamento das informações via geoprocessamento.

Assim, este estudo pretende, em escala mais ampla, contribuir para uma melhor adequação do uso do solo aos potenciais ambientais da área, como um subsídio para o planejamento urbano-ambiental do município, já que dentro da visão de análise e planejamento ambiental, esta microbacia pode ser classificada como *estratégica* para estudos e programas de ação (BOTELHO e SILVA, 2004), uma vez que há expansão do sítio urbano do Crato em direção aos patamares da Chapada do Araripe, em especial em sua área de abrangência.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada baseia-se na visão integrativa dos componentes geo-ambientais da microbacia, em especial nos estudos ecodinâmicos de Tricart (1977) e em sua releitura feita por Bólos (1981) e Simões *et al.* (s.d).

Mapeamento básico e temático

A base cartográfica foi elaborada a partir de cartas topográficas na escala de 1:100.000 da SUDENE - Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste (1972) - Folha SB. 24-Y-D-III - Crato, de fotografias aéreas na escala de 1:15.000 do Departamento Nacional de Obras e Saneamento - DNOS – de julho de 1983, e complementado por trabalhos de campo, onde foram checados a rede de drenagem, o sistema viário e as isolinhas altimétricas também foram checadas em campo com aparelho de GPS Garmin 1-2.

As cartas/mapas temáticos foram elaborados a partir de mapas e cartas pré-existentes, interpretação de fotografias aéreas e dados primários coletados em campo. Foram feitos em ambiente computacional, utilizando-se softwares de CAD (MicroStation) e SIG (Arc View). Os mapas/cartas pré-existentes foram scannerizados e tratados em software de desenho (Corel Draw) e posteriormente convertidos para arquivo DGN no CAD MicroStation. Depois de digitalizados e georreferenciados no CAD, estes mapas foram trabalhados em camadas (*layers)* de acordo com o tipo de informações, tanto de elementos vetoriais como matriciais e convertidos para arquivo do SIG Arc View.

Assim, foram confeccionados os seguintes mapas:

Mapa de unidades de vertente – baseado na metodologia de Ross (1996), foi feito através da interpretação das fotografias aéreas na escala de 1:15.000 supracitadas onde foram identificadas e mapeadas três unidades – a Planície (planície fluvial), o Topo (topo do interflúvio), e o Patamar (patamar do interflúvio) , resultando no mapa na escala de 1:15.000, trabalhada em ambiente digital segundo metodologia acima descrita.

Mapa de unidades morfo-pedológicas – feito a partir de fotointerpretação, trabalho de campo e análise de amostras e relacionado com o mapa de associação de solos do Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará (JACOMINE, 1973), na escala de 1:600.000 .

No presente trabalho foi utilizada a topografia e a litologia como base de distinção de solos em cada associação identificada no mapa de solos do Estado do Ceará, ou seja, em cada associação de solos, foram identificados pontos de coleta relacionados com a topografia e com a litologia.

De inicio, foi feita a digitalização do Mapa de Associação de Solos supracitado, para ser justaposto ao Mapa de Unidades de Vertente. Utilizando-se os *layers* destes mapas, foi feito no SIG Arc View a intersecção de cada unidade de vertente com cada associação de solos. O resultado foi a identificação de manchas de solos, de acordo com sua localização na vertente dentro de cada associação de solos.

Devido as escalas dos mapas serem muito distanciadas (1:600.000 e 1:15.000), as áreas cobertas por cada associação de solos não identificou corretamente os solos em cada unidade de vertente. A área abrangida pelos Neossolos flúvicos eutróficos superou em muito sua real delimitação. Assim, foi feita uma diferenciação apenas em relação à encosta da chapada (área de associação com predomínio de Neossolos Regolíticos eutróficos) e ao pediplano adjacente a esta (área de predomínio de Luvissolos Crômico). Os Neossolos flúvicos eutróficos foram considerados e mapeados apenas nos vales dos rios e riachos da microbacia, sendo sua área mapeada no mapa de associações de solos unida a da associação com predomínio de Luvissolos Crômicos.

Feito isso, identificou-se os pontos para coleta de amostras de solo, sendo escolhido um ponto de cada unidade de vertente em cada associação de solos existente no Mapa de Associação de Solos *(unidades morfo-pedológica).*

As classes de solos encontradas nestas associações tiveram sua nomenclatura atualizada segundo a taxonomia feita pela Embrapa, em 1999, originando os seguintes tipos de solos (Quadro 1):

Quadro 1 - Relação de taxonomia entre as classes de solos encontrados nas associações de solos da SUDENE (JACOMINE, 1973) e a Embrapa-CNPS,1999

Nomenclatura antiga	Nomenclatura da Embrapa-CNPS, 1999
Litólico eutrófico	Neossolo Regolítico eutrófico
Podzólico Vermelho-Amarelo Equivalente eutrófico	Luvisolo Crômico
Latosolo Vermelho-Amarelo eutrófico e distrófico	Latosolo Vermelho-Amarelo eutrófico e distrófico
Areia Quartzoza distrófica	Neossolo Quartzarênico
Aluviais eutróficos	Neossolo Flúvico psamítico Neossolo Flúvico eutrófico

Devido estas unidades mapeadas apresentarem fisionomia bastante semelhante, foi feita uma generalização destas para cada unidade de vertente associada, gerando um mapa de unidades morfo-pedológicas com características semelhantes quanto aos parâmetros considerados.

Carta de erodibilidade dos materiais superficiais – relacionando os parâmetros considerados neste trabalho, quais sejam: textura do solo, razão textural entre horizontes, porosidade total, teor de matéria orgânica e profundidade do solo, através de geoprocessamento, originou-se uma *carta de erodibilidade do material superficial*.

Ao mapa de unidades morfo-pedológicas, foram correlacionados os parâmetros acima definidos em seu banco de dados. No SIG Arc View, em *Table*, foram incluídos campos com os dados numéricos destes parâmetros, criando-se uma tabela com as categorias utilizadas para gerar geocampos com graus de erodibilidade baseados nestes parâmetros. A estes dados numéricos foram atribuídos pesos diferenciados, de acordo com sua influência no processo erosivo (tabela 1).

Tabela 1 - Peso atribuído a cada parâmetro utilizado para identificar classes de erodibilidade dos solos

Parâmetro	Peso atribuído
Textura	30%
Razão textural entre horizontes A e B	25%
Teor de matéria orgânica	20%
Porosidade total	15%
Profundidade do solo	10%

Classificação da autora, 2004.

Valores numéricos também foram atribuídos às classes de cada parâmetro, de acordo com sua contribuição ao grau de erodibilidade dos solos, segundo as especificações a seguir.

A textura diz respeito à granulometria dos solos, fator diretamente relacionado com a capacidade de infiltração destes. A erodibilidade tende a aumentar quando os teores de areia fina e silte são elevados, e a diminuir quando da elevação dos teores de argila e matéria orgânica. Neste trabalho utilizou-se os seguintes diâmetros:

- Areia grossa – 2,0 – 0,2 mm

- Areia fina – 0,2 - 0,05 mm
- Silte – 0,05 – 0,002 mm
- Argila - < 0,002 mm

De acordo com Lepsch (1983) e Prado (1993), ambos baseados em trabalhos da Embrapa, os seguintes grupamentos texturais foram considerados para distinguir classes de solo:

- Textura arenosa – compreende as classes de areia e areia franca; tem fração sólida mineral normalmente constituída de quartzo; o teor de argila + silte é inferior a 15%;
- Textura média, franco- arenosa e franco-argilo-arenosa – compreende classes com menos de 35% de argila e mais de 15% de areia, excluindo as classes texturais de areia e areia franca; teores de argila + silte maior que 15% e argila menor do que 35%;
- Textura argilosa – compreende classes texturais com 35% a 60% de argila;
- Textura muito argilosa – compreende classes texturais com mais de 60% de argila.

De acordo com estes parâmetros, relacionaram-se as texturas com seu grau de erodibilidade, e a este foi dado um atributo numérico, como se observa no tabela 2.

Tabela 2 - Classes de textura e sua erodibilidade

Textura Categorias	Classes	Erodibilidade	Atributo
Média, franco-arenosa, franco-argilo-arenosa	< 35% argila e > 15%areia argila+silte>15% argila<35%	Forte	4
Arenosa	Areia e areia franca Argila+silte<15%	Moderada	3
Argilosa	35%- 60% argila	Fraca	2
Muito argilosa	> 60% argila	Muito fraca	1

A razão textural entre horizontes aparece como parâmetro significativo para a erodibilidade dos solos, devido a sua influência na hidráulica em seu perfil. De acordo com a equação abaixo (UNESP, 2000, baseada em metodologia de BERTONI, 1978), obteve-se as classes identificadas na tabela 3 e relacionadas à erodibilidade a aos seus atributos numéricos.

$$\text{Razão textural} = \frac{\text{Média das porcentagens de argilas no horizonte B (excluindo BC)}}{\text{Média da porcentagem de argilas de todo o horizonte A}}$$

Tabela 3 - Classes de razão textural e sua erodibilidade

Razão textural dos horizontes A-B Categorias	Classes	Erodibilidade	Atributo
Baixa	< 1,2	Fraca	1
Moderada	1,2 – 1,5	Moderada	2
Forte	> 1,5	Forte	3

A porosidade total aparece como um fator importante para a infiltração. Em geral, quanto maior a porosidade, maior a capacidade de infiltração. Isto se torna mais enfático quando se leva em conta o percentual de macroporos, os maiores responsáveis por esta capacidade. Segundo a porosidade total dos solos, classificamos estes solos quanto a erodibilidade conforme a tabela 4, onde se tem também os atributos numéricos relacionados.

Tabela 4 - Classes de porosidade total e sua erodibilidade

Porosidade total Categorias	Classes %	Erodibilidade	Atributo
Alta	> 50	Fraca	1
Média	30-50	Moderada	2
Baixa	< 30	Forte	3

A matéria orgânica tem efeito agregador para as partículas dos solos, e quanto maior a estabilidade dos agregados, menor a erodibilidade. Seus teores mínimos relacionados à erodibilidade não são unanimidade, segundo os diversos estudiosos, variando de acordo com as condições ambientais. No geral, o teor crítico para influenciar a erodibilidade dos solos encontra-se entre 2,0 e 3,5% (GUERRA, 1995). Nos materiais superficiais identificados na microbacia do rio Grangeiro, através de amostras coletadas em campo e analisadas em laboratório, não foram encontrados altos teores de matéria orgânica. Assim, fez-se uma classificação mais próxima a esta realidade, como se observa na tabela 5.

Tabela 5 - Classes de teor de matéria orgânica e sua erodibilidade

Teor de matéria orgânica Categorias	Classes %	Erodibilidade	Atributo
Baixo	< 1,0	Forte	3
Médio	1,0 – 1,9	Mediana	2
Alto	≥2,0	Fraca	1

Em relação à erodibilidade, a profundidade do solo influencia nas taxas de infiltração. Quanto mais raso o solo, menos tempo para saturá-lo será necessário, uma vez que haverá quantidade menor de material pedológico para ter os poros preenchidos; em função disto, classificou-se este parâmetro (tabela 6).

Tabela 6 - Classes de profundidade do solo e sua erodibilidade

Profundidade do solo Categorias	Classes cm	Erodibilidade	Atributo

Raso	≤ 50	Alta	4
Pouco profundo	50 – 100	Média	3
Profundo	101 – 200	Fraca	2
Muito profundo	≥ 200	Muito fraca	1

Compilado de Souza, 1994.

Modelo Digital de Terreno – originado a partir da carta topográfica na escala 1:100.000 da SUDENE (1972) Folha SB. 24-Y-D-III - Crato, em ambiente computacional. As isolinhas altimétricas foram digitalizadas no CAD MicroStation (dgn) e convertidas para arquivo Arc View (shp). Neste SIG, foi aplicada a ferramenta TIN para gerar o MDT. Este MDT serviu de base para a geração da carta de declividades.

Carta de Declividade – feito a partir do MDT, teve os intervalos definidos de acordo com as classes existentes em Ross (1996), obtendo as seguintes categorias (tabela 7):

Tabela 7 – Classes de declividade segundo Ross (1996)

Categorias	Classes (%)
Muito fraca	Até 6
Fraca	De 6 a 12
Média	De 12 a 20
Forte	De 20 a 30
Muito forte	Acima de 30

Compilado de Ross, 1996.

Devido à escala da carta original (1:100.000), as isolinhas altimétricas apresentavam eqüidistância de 40 metros, o que impossibilitou a geração de declividades representativas da realidade na escala trabalhada nesta dissertação (1:15.000). Dessa forma, foi feita uma interpolação de curvas, gerando uma eqüidistância de 5 metros entre elas. Estas linhas interpoladas foram checadas em campo, utilizando-se um aparelho GPS Garmin 1-2 a partir da diferença altimétrica entre pontos cotados reconhecidos e pontos plotados no GPS. Também foi feita uma comparação entre as morfologias mapeadas na fotointerpretação e identificadas em campo, com o arranjo espacial destas novas isolinhas de eqüidistância altimétrica. Gerou-se, assim, um novo MDT, com eqüidistância de curvas de nível de 5 metros. Deste, pela ferramenta SURFACE do SIG Arc View, gerou-se uma carta de declividade.

Mapa de forma de encosta –. Foi feita a partir da curvas de nível com eqüidistância de 5 metros, onde foram identificados tipos básicos de segmentos de encostas em planta: convexo, côncavo e retilíneo, e desenhadas em forma de polígonos no SIG Arc View. A cada polígono foi atribuído um peso, de acordo com a influência do tipo de forma representada por ele no processo erosivo, como se observa no tabela 8.

Tabela 8 - Atributos relacionados aos tipos e forma de encosta (em planta)

Forma	Atributo
Côncava	3
Retilínea	2

Convexa	1

Morfometria

A morfometria foi feita de forma manual sendo utilizados, para este fim, a carta básica na escala de 1:15.000, com a rede de drenagem e as isolinhas altimétricas da carta da SUDENE, complementados pela fotointerpretação (drenagem secundária) e trabalho de campo para medição das altimetrias máxima e mínima da microbacia, feita com aparelho GPS Garmin 1-2.

Foram quantificados os seguintes parâmetros: a área e o perímetro da bacia, em quilômetros quadrados (km^2)e quilômetros, respectivamente; o número de canais, onde foram contabilizados a partir da fotointerpretação; o ordenamento fluvial (de acordo com Sthraler); a relação de bifurcação (Rb) ente os canais; densidades de drenagem (Dd); a densidade hidrográfica (Dh); o comprimento e a forma da bacia; a extensão do percurso fluvial representa a distância média, em metros, percorrida pela enxurrada até um canal permanente. Os parâmetros quantificados na morfometria foram utilizados para a inferência das formas e seus processos genéticos.

Geoprocessamento

A digitalização e geocodificação das cartas temáticas foram feitas em estrutura vetorial, e transformadas em matricial para serem analisadas de forma interativa por geoprocessamento. A estrutura matricial foi priorizada devido a maior eficiência deste tipo de estrutura para análises espaciais que necessitem de operações algébricas entre mapas, apesar de utilizar maior espaço para armazenamento. A base cartográfica, porém, permaneceu em formato vetorial, por este apresentar maior definição de detalhes para mapeamento.

Desta forma, em uma primeira instância foram digitalizados, georreferenciados e/os criados os mapas temáticos (*layers*) de parâmetros físico-ambientais (unidades de vertente, erodibilidade, declividade e forma de encostas) em arquivos vetoriais (shp), e a cada classe destes *layers* foi dado um atributo relacionado à sua influência no processo erosivo, originando uma escala de valores de estabilidade/instabilidade (Tabela 09).

Tabela 9 - Valores atribuídos a cada classe dos parâmetros físico-ambientais

Atributo	Parâmetros Físico- ambientais			
	Unidade de vertente	Erodibilidade	Forma de encosta	Declividade
1	Topo de interflúvio	Baixa	Convexa	Muito fraca
2	Planície fluvial	Média	Retilínea	Fraca
3	Patamar	Alta	Côncava	Média
4	-	-	-	Forte
5	-	-	-	Muito forte

Os arquivos vetoriais (shp) foram então convertidos para arquivos matriciais (*grid*) para que fossem relacionados seus atributos. As classes de susceptibilidade foram delimitadas pelas combinações possíveis entre os valores dos *pixels* de cada *layer*, originando geo-campos que contem valores combinados de estabilidade/instabilidade, resultando na Carta de Susceptibilidade aos Processos Erosivos Superficiais.

Esta carta de susceptibilidade aos processos erosivos foi obtida baseando-se na metodologia sugerida pela SAE/INPE para os projetos ZEE (Simões *et al*, s.d.) e feita a partir de operações de multiplicação e soma, foi feito o cálculo de mapas (*Map Calculator*) no Sistema de Informação Geográfica (Arc View), que fez as combinações possíveis entre

os atributos e os seus respectivos pesos, gerando classes de susceptibilidade. Para se chegar a este resultado levou-se em consideração os pesos atribuídos a cada parâmetro, de acordo com a equação abaixo.

([erodibilidade] x 0.40 + [forma de encosta] x 0.35 + [declividade] x 0.15 + [unidade de vertente] x 0.10)

Dentre os parâmetros utilizados, a erodibilidade dos materiais superficiais apresenta o maior peso em relação à influência nos processos erosivos, uma vez que dependendo de suas características intrínsecas, este material pode ser mais, ou menos, destacado e carreado pela vertente.

Como a dinâmica geomorfológica é a base para a compreensão da localização e classificação da susceptibilidade aqui estudada, os parâmetros relacionados a esta dinâmica foram considerados como de maior peso total na equação (60%). Porém a cada um destes parâmetros, foi atribuído um peso específico; à forma da encosta foi dada atenção especial, pois dependendo do potencial para concentrar ou dispersar fluxos, os processos erosivos tendem a se acelerar mais ou menos; como a declividade age como intensificadora da velocidade do fluxo, mas não como geradora, foi-lhe dado um peso menor; e à localização na vertente, foi atribuído peso reduzido, uma vez que apesar de importante do ponto de vista evolutivo do relevo, relacionada a áreas de infiltração, escoamento e deposição, sua influência nos processos erosivos é menor que dos demais parâmetros.

A análise resultante desta combinação considerou a média aritmética *pixel* a *pixel* dos valores de cada um destes parâmetros. As unidades de mapeamento representativas da vulnerabilidade ao final foram reagrupadas em classes, gerando o mapa de susceptibilidade a processos erosivos superficiais.

No mapa resultante, inicialmente originado em formato matricial (*grid*), foi feito um procedimento de "limpeza" de *pixels* agrupados em pequenas áreas (sujeiras), com a ferramenta *Clean Up* do Arc View, gerando um mapa com menos erros. Este novo mapa gerado foi, então, convertido para arquivo vetorial (shp), sendo o resultado final do geoprocessamento: Mapa de Susceptibilidade aos Processos Erosivos Superficiais com base na dinâmica geomorfológica.

Pesquisa de Campo

Para a caracterização das propriedades que afetam a erosão, alguns procedimentos de campo foram necessários, como coleta de amostras, observações quanto às condições ambientais dos pontos amostrais (litologia, posicionamento no relevo, vegetação natural e fisionomia e uso do solo).

Foram coletadas amostras volumétricas e deformadas de solo em pontos representativos das unidades morfopedológicas da microbacia, dentro da metodologia do levantamento morfopedológico, baseado em fotointerpretação, onde se distinguem unidades de solos a partir de seu posicionamento no relevo e identidade fisionômica (cobertura vegetal, uso do solo, etc), conforme salienta Koffler (1993). Destas amostras obteve-se dados que possibilitaram a caracterização morfológica, física e química destes solos, no intuito de identificar a susceptibilidade destes à erosão.

Assim, trabalhou-se com 08 pontos amostrais ao longo da microbacia, a partir de cortes ao longo de estradas e/ou caminhos. De cada ponto, retirou-se amostras de cada horizonte identificado no perfil, sendo utilizados para análise imediata em campo, todos as amostras, e para análise de laboratório, apenas as amostras dos dois horizontes mais superficiais. Estes pontos foram localizados utilizando-se aparelho GPS Garmim 1-2.

Em campo foram identificadas espessura do horizonte e do perfil, textura (teste de toque com o solo em três condições: seco, úmido e molhado), estrutura, presença ou não de pedregosidade/rochosidade, presença ou não de mosqueados e transição entre os horizontes. A cor dos horizontes foi detectada em comparação com a carta de Munsell a partir das amostras coletadas.

Também para a confecção do MDT foi necessário trabalho de campo. Como dito anteriormente, foram feitas incursões em campo para a identificação mais precisa das declividades reais, usando-se para tal um GPS Garmin 1-2. A partir de ponto cotado reconhecido – e localizado no interior da Catedral da Sé, no centro da cidade do Crato – fez-se uma comparação das diferenças altimétricas entre este e pontos pertencentes a seções transversais à bacia, traçadas ao longo de seu perfil. Obteve-se, assim, juntamente com as diferenças altimétricas encontradas, uma localização mais ajustada à realidade das curvas de nível criadas por interpolação no SIG. A esta localização, também se relacionou a malha urbana, para uma maior precisão.

Laboratório

As amostras coletadas em campo foram analisadas em laboratório[4], de acordo coma metodologia da Embrapa (1997). Da etapa laboratorial constaram as seguintes análises: granulometria (teor de areia, de silte e de argila), densidade aparente e densidade real, porosidade e teor de matéria orgânica.

A *granulometria* (dispersão total), foi obtida conseguida através da análise das porcentagens granulométricas de cada amostra, pelo método da pipeta, de acordo com o manual da Embrapa (1997). Nestas análises, foram definidas as seguintes dimensões para as partículas dos solos: areia grossa, de 2,0 a 0,2 mm; areia fina, de 0,2 a 0,05 mm; silte, de 0,05 a 0,002 mm; e argila, dimensões menores a 0,002 mm.

O cálculo da *densidade aparente (densidade do solo)* foi feito pela relação de peso entre as amostras úmidas e secas. A *densidade real ou de partículas* foi obtida através da relação entre uma amostra seca com a mesma amostra acrescentada de álcool absoluto. Obteve-se a *porosidade total* relacionando-se as densidades real e a aparente, segundo metodologia da Embrapa (1997). O teor de *matéria orgânica* foi conseguido pelo Método de Titulação após Oxi-redução por Via Úmida - Walkley-Black (Embrapa, 1997).

A partir dos resultados das análises foram feitas interpretações sobre as características identificadas com a susceptibilidade dos solos aos processos erosivos, a partir dos seguintes parâmetros: textura, razão textural, teor de matéria orgânica, porosidade total e profundidade do solo.

RESULTADOS

O município do Crato apresenta certa homogeneidade geoambiental, em especial no que se refere à litologia e solos, fato decorrente dos espessos pacotes sedimentares depositados na região no período Cretáceo que formam a Bacia Sedimentar do Araripe que recobrem grande parte de seu território. Segundo Ribeiro (1997), as diferenciações são resultado essencialmente da morfologia, esculpida nos últimos 60 milhões de anos e originando a Chapada do Araripe e sua depressão associada. Neste mesmo trabalho, Ribeiro afirma que no município do Crato existem quatro grandes unidades geomorfológicas identificáveis

[4] As análises foram realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade dos Solos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba – Campus III – Areia/Pb, pelo Msc. Eng. Agrônomo José do Patrocínio Alves (análise física) e pelo Prof. Adjunto Adailson Pereira de Souza (analise química – matéria orgânica).

apenas pela observação de campo: topo da chapada, encosta (ou patamar), pediplano e serras cristalinas, com todo um elenco de características inerentes à sua posição morfológica e diagnosticado pelo tipo de vegetação original. A microbacia do rio Grangeiro, encontra-se totalmente inserida na área sedimentar deste município, percorrendo terras de dois de seus distritos: o sede e o Belmonte.

A microbacia apresenta 10,3 km de comprimento e sua forma geral é alongada (podendo ser inferida tanto pelo seu índice de forma – aproximadamente 1,75. Isto se deve à componente estrutural, uma vez que seus rios correm encaixados prioritariamente em falhas advindas de seu embasamento e ainda influentes em superfície. Esta estrutura também é responsável pela formação de seus interflúvios internos e de seus divisores com as microbacias adjacentes – a do rio Batateiras, à oeste, que lhe é nível de base, e a do Saco-Lobo, à leste.

Os rios pertencentes a estas microbacias seguem percursos semi-paralelos aos dos da microbacia em questão, sofrendo uma inflexão para a direita ao sair da zona de encosta e passar a correr no pediplano. Assim, o rio Grangeiro se torna tributário do Batateiras, assim como o Saco-Lobo. Formam, então, o rio Salgadinho, que após a junção com o rio Salamanca, já no município de Barbalha, passa a formar o rio Salgado, cuja bacia drena grande parte do sul do estado do Ceará, e deságua no rio Jaguaribe, próximo à cidade de Icó.

A vertente da Chapada voltada para o norte-nordeste, e em especial aquela abrangida pelo município do Crato, compõe-se de duas partes. A superior é constituída por uma escarpa arenítica, abrupta, de perfil acentuadamente vertical, que na região é conhecida como “talhado”, constituída basicamente pelos arenitos da Formação Exu. A inferior, abaixo do talhado, também denominada *talude* tem vertente formada por uma espécie de patamar dissecado que apresenta uma superfície de topografia irregular.

É no contato entre a escarpa e o talude (contato entre as formações Exu e Arajara na base da escarpa, e no âmbito desta última formação) que se dá a ressurgência da água infiltrada no topo, dando origem a numerosas fontes. Estas são as formadoras de rios e riachos que compõem a microbacia do rio Grangeiro, assim como as demais bacias da região sul do Ceará.

No Araripe, as condições de morfogênese química não ocorrem no topo, e sim na encosta. Em virtude da inclinação das camadas geológicas, que mergulham em direção N e NE, a água que infiltra no topo pelos arenitos da Formação Exu, ressurge na encosta, quando do contato com os folhelhos e calcários da Formação Santana. Formam um “brejo” de encosta - sopé-de-serra, que originam as fontes responsáveis pela perenidade dos rios que nascem nas encostas da Chapada do Araripe.

Na microbacia do Grangeiro pudemos identificar também três unidades de vertente, através de fotointerpretação. Os topos, predominantemente planos a convexos, representando áreas de divisores de água locais, as planícies fluviais, correspondente aos locais de influência geomorfológica dos cursos d’água, e os patamares, espaço transicional entre topo e planície fluvias, e onde ocorre a maioria dos processos morfoesculturantes areolares.

São encontrados na microbacia 56 canais fluviais obtendo-se, assim, uma densidade hidrográfica de 2,7 canais/km^2. Este índice, assim como o de densidade de drenagem geral da bacia, 2,12 km (km^2)$^{-1}$, demonstram baixa densidade fluvial na microbacia, resultado, principalmente, da precipitação concentrada (que apesar de influir na morfogênese das encostas, não participa efetivamente na construção de canais fluviais permanentes) e dos altos índices de infiltração dos solos e litologias da Bacia Sedimentar do Araripe, onde predominam arenitos porosos.

De acordo com a hierarquização de Horton (1945) e modificada por Strahler (1952, *in* Cunha, 1995), a microbacia é de 4ª ordem. Os índices de relação de bifurcação (Rb) obtidos demonstram que, nas áreas do alto e médio curso da microbacia (correspondente à encosta

da chapada e onde encontram-se respectivamente os valores de Rb=3,72, para os canais de 1ª e 2ª ordens e Rb=3,67 para os de 2ª e 3ª ordens) há uma maior dissecação do que no baixo curso com Rb=3,0 (relação entre os canais de 3ª e 4ª ordens).

Seus interflúvios apresentam topos planos e/ou suavemente convexos, e o fundo de seus vales tem forma predominante aguçada na encosta superior, passando à forma achatada-plana no médio-baixo curso.

A análise das formas dos vales e da relação de bifurcação demonstra que a evolução geomorfológica da microbacia está se dando na forma de uma dissecação de dois tipos: vigorosa nas áreas de maior declividade, a montante, onde promove entalhes bem pronunciados, tendo a componente vertical supremacia nesta dinâmica; no médio curso, há equilíbrio entre as formas dos vales, havendo desde vales íngremes com forte dissecação a áreas de vales de fundo chato com terraços distanciados, com coalescência de sedimentos, formando amplos depósitos aluviais nas áreas mais planas ao longo de seu curso. No baixo curso, já em área de pediplano, e assim, com energia de transporte menos ativa, encontramos amplos vales recobertos de aluviões. Nesta área, encontra-se a maior extensão da sede municipal, o que dificulta sobremaneira sua caracterização mais efetiva.

Assim, temos, em geral, áreas declivosas com vales encaixados a montante, áreas com menos declividade e maior largura dos vales com depósitos aluviais no médio curso, e áreas planas, com vales de fundo chato e grandes extensões de planícies aluviais à jusante. Estas morfologias estão localizadas, respectivamente, na alta encosta, na baixa encosta e no pediplano, demonstrando a relação direta da estrutura com a forma produzida pelos processos exógenos.

Em relação à capacidade hídrica dos canais fluviais, temos dois pontos a destacar: a forma da bacia (semi-retangular com afunilamento no baixo curso) reflete-se no tempo necessário para as águas que caem nas nascentes percorrerem seus canais e chegarem à foz – quanto mais alongada a bacia, mais tempo se faz necessário para este percurso ser percorrido pelas águas - e aliado à forma da bacia, temos que as águas superficiais percorrem, em média, 236m nas encostas para atingirem um canal permanente, e são necessários 471,7m^2 de área para manter um metro de canal com escoamento permanente (coeficiente de manutenção).

Estes dados nos descrevem uma característica muito importante da dinâmica hídrica da microbacia: a falta de volumes significativos em seus cursos fluviais durante boa parte do ano, uma vez que, apesar das nascentes formadoras de seus riachos serem permanentes, ao débito destas não se faz somar quantidades de água necessárias para mantê-los. Some-se a isso, a captação de água das fontes pelos moradores das alta e média encostas, através de canais artificiais (localmente chamados de “levadas”), que a utilizam para irrigação e consumo humano e animal[5].

Assim, no pediplano, o canal do rio Grangeiro (que capta a água dos demais canais oriundos das encostas) apresenta volume de água significativo apenas devido às águas lançadas em seu curso pela rede urbana de encaminhamento de águas pluviais, águas servidas e/ou esgotos. Os dois afluentes do rio Grangeiro que se unem a ele na área do pediplano (riacho das Piabas, na margem esquerda, próximo da ponte para o bairro do Lameiro, e o riacho da Vala, na margem direita, próximo ao Mercado Central) apresentam também esta composição – águas servidas e/ou esgotos.

[5] Tem-se no Município do Crato uma situação diferenciada daquela comum na maior parte do país em relação aos recursos hídricos superficiais: estes são privatizados, devido a documentos legalizados em cartório desde finais do século XIX, onde as vazões das fontes que ressurgem na encosta da Chapada do Araripe foram medidas e registradas em nome dos proprietários das terras onde se encontram suas nascentes. Assim, estes “proprietários dos rios” cratenses dispõem das águas que jorram destas fontes de acordo com sua conveniência. Em muitos casos, essas águas são partilhadas entre os proprietários de terras por onde passam; em outros, são desviadas para abastecimento de clubes, chácaras e casas de veraneio. Em geral tem-se, na verdade, uma distribuição destes recursos de acordo com os interesses de seus “proprietários”, bem diferente do que consta na Constituição Federal de 1988, onde os recursos hídricos são conceituados como bem comum.

Em termos gerais, os solos originados dos sedimentos da Bacia Sedimentar do Araripe são arenosos com teores de silte a argila variáveis segundo sua litologia e localização no relevo.

Os solos do topo da Chapada são predominantemente arenosos, do tipo **Latossolo Vermelho-Amarelo** distrófico, ocorrendo também, o álico. São solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B latossólico caracterizado pelo avançado estágio de intemperismo. O solo mais comum nos patamares da Chapada é o **Neossolo Litólico eutrófico**, porém, encontra-se também o **Luvissolo Crômico** em proporções consideráveis. Este segundo também se desenvolve expressivamente no pediplano. Os **Nessolos flúvicos** aparecem nos vales fluviais com maior expressividade espacial no pediplano próximo às confluências (JACOMINE, 1973, com denominação modificada de acordo com EMBRAPA, 1999).

A partir das análises das amostras coletadas dos 08 pontos (anexos 1 e 2), pode-se inferir características mais específicas dos materiais que recobrem a microbacia do rio Grangeiro, espacializadas no mapa de unidades morfo-pedológicas.

A maioria destes materiais (62,5%) apresentam pouca profundidade (menos que 100 cm), sendo que há presença de solos bastante rasos (profundidade inferior a 50 cm). Note-se a espessura bastante delgada dos materiais superficiais dos pontos amostrais três e quatro, onde se tem, respectivamente 25 e 18 cm totais, uma vez que constituem horizontes pedológicos únicos sobre regolito e/ou rocha sã. Isto se deve principalmente ao tipo climático regional, semi-árido, que, apesar de somar volumes de precipitação relativamente altos (em torno de 1.000 mm anuais), apresenta concentração em poucos meses, o que significa alto grau de erosividade da chuva, que desgasta e transporta o material destacado.

O tipo de litologia subjacente e posição no relevo também exerce grande influência sobre a espessura destes solos. Em áreas com predominância de arenitos (Formação Exu e Formação Rio da Batateira, respectivamente da alta encosta, na transição entre a encosta e o pediplano e em toda esta unidade geomorfológica) em áreas planas, há uma pedogênese mais acelerada devido à maior capacidade de infiltração e armazenamento de água no corpo do solo, o que gera materiais superficiais mais profundos (pontos amostrais um, cinco e seis).

Os materiais superficiais estudados apresentam uma predominância da estrutura tipo subangular e grumosa em seus horizontes superficiais e angular e grumosa nos subsuperficiais. Ocorrem também os tipos colunar e granular nos horizontes superficiais e subangular e granular nos subsuperficiais.

Raízes foram observadas em algumas amostras, mas no geral, são raras, tanto nos horizontes subsuperficiais como nos superficiais; não foram encontradas pedregosidades nem rochosidades na maioria dos pontos; observando-se um percentual elevadíssimo destes elementos apenas na superfície de um ponto(“pavimento desértico”), como também no horizonte subsuperficial de outro foram encontrados alguma rochosidade, em especial de sedimentos calcáreos, indicando que estes materiais se originaram de colúvio (o último, de rochas da Formação Santana).

A textura conta predominantemente com a presença de altos percentuais de areia (grossa e/ou fina), devido principalmente ao material de origem (arenitos, folhelhos com lentes de arenitos e calcarenitos, em sua maioria). Observou-se texturas franco-argilo-arenosas em grande parte dos horizontes, tendo sido encontradas também as texturas franco arenosa, areia, areia franca, argilo-arenosa e argila.

Em quase a totalidade dos pontos analisados, há um aumento de teores de argila no horizonte subsuperficial, indicando processo de lixiviação deste material. Exceção tem-se em dois pontos, podendo-se explicar tal fato pelo revolvimento do solo tanto para construções como para lavoura no um ponto, e pela deposição constante de sedimentos finos nas épocas de cheias do rio Grangeiro no outro (ponto localizado em vale fluvial).

A relação textural não é elevada, apresentando valor máximo no ponto dois (1,67); porém, em dois pontos (três e quatro), só há horizonte superficial e raso (25 e 18 cm, respectivamente), observando-se, assim, um contato lítico. A relação silte/argila, indicadora do grau de intemperização do solo[6], apresenta valores predominantemente baixos. Exceção ocorre no ponto cinco (valores 1,52 e 0,97 para os horizontes superficial e subsuperficial, respectivamente), material proveniente de aluvião, e com baixos percentuais de argila devido a época de deposição (Quartenário recente).

Em relação a porosidade, os materiais superficiais analisados apresentam boa aeração, com percentuais variando entre 44 e 58% , e sem grandes descontinuidades entre os horizontes. Em todas os pontos há predominância de macro-agregados (maiores que 0,25mm de diâmetro) e o diâmetro médio dos agregados secos varia entre 1,25 (horizonte superficial do ponto cinco) a 5,21 (horizonte subsuperficial do ponto seis).

Em sua quase totalidade, os materiais estudados apresentam caráter fortemente ácidos (pH entre 4,3 e 5,3), moderadamente ácido (pH entre 5,4 a 6,5) e neutro (pH entre 6,6 a 7,3); porém, o horizonte subsuperficial do ponto cinco, apresenta pH elevado (8,0), demonstrando caráter fortemente básico (SNLCS, 1988, *in* BOTELHO, 1996). Isto ocorre por tratar-se de área de cultura comercial de cana-de-açúcar, onde há incorporação sistemática de fertilizantes químicos. Os teores de alumínio são baixos, sendo nulos em muitos horizontes, e aparecendo com maior expressão apenas no ponto 4 (3,15 $cmol_c/dm^3$) e nos horizontes subsuperficiais dos pontos 6 e 7 (1,00 e 1,40 $cmol_c/dm^3$, respectivamente).

Não foram identificados altos teores de matéria orgânica, sendo a maioria das amostras pertencentes às classes de baixo percentual (< 1,0 %) e médio percentual (entre 1,0 e 1,9%), com valores variando entre 0,54 e 2,24%.

A vegetação é bastante influenciada pelo relevo e pelos solos, e em especial pela presença da umidade advinda das fontes, na encosta. Nestas áreas a densidade e o porte das espécies é maior do que nos interflúvios da microbacia e no pediplano.

De acordo com a denominação adotada pelo Instituto de Planejamento do Estado do Ceará – IPLANCE (1989), encontramos os seguintes tipos de vegetação na microbacia: Floresta Subcaducifólia Tropical Xeromorfa (Cerradão), Floresta Subperenifólia Plúvio-Nebular (Mata Úmida), Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca) e Floresta Caducifolia Espinhosa (Caatinga). Acompanhando os principais cursos d'água da microbacia encontrava-se originalmente uma vegetação arbórea mais densa, com grande número de espécies da Floresta Subperenifólia Plúvio-Nebular, constituindo a Mata Ciliar devido a maior umidade advinda do lençol e/ou da infiltração lateral. Nas áreas próximas às fontes, nas áreas deprimidas e à jusante da microbacia, onde esta se une ao vale do rio Batateiras formando uma ampla planície fluvial, encontrava-se um grande número de palmáceas, como carnaúba (*Copernícia cerifera*), catolé (*Syagrus comosa*), babaçu (*Orbignya*) macaúba (*Acronomia intrumescens*) e buriti (*Mauritia vinifera*). A cobertura vegetal original da microbacia, e em especial de seu baixo curso, porém, encontra-se majoritariamente substituída por culturas permanentes e temporárias, em especial cana-de-açúcar, capim e consórcios de feijão-milho.

Como produto da metodologia utilizada, foram identificadas *cinco classes de susceptibilidade à erosão superficial na microbacia do rio Grangeiro* (figura 1). Estas classes são resultado da interação entre os parâmetros relacionados – unidades de vertente, forma da encosta, declividades e erodibilidade dos materiais superficiais – que agem de forma direta e indireta na dinâmica e evolução da morfologia da área.

[6] As partículas do tamanho de areia e silte, sob a ação do intemperismo, transformam-se em argila que é geralmente mais resistente; os minerais resistentes permanecem sob o tamanho da areia e a fração silte fica, assim, sendo ponto de máxima estabilidade, isto é, somente os solos mais novos apresentam alto teor de silte.

O mapa de susceptibilidade aos processos erosivos gerado a partir da correlação entre estes parâmetros apresentou-se bastante próximo da realidade observada na área de estudo. As classes identificadas como mais susceptíveis à erosão localizam-se em áreas com fortes declives e solos bastante rasos.

Foi observada uma relação estreita entre a susceptibilidade, a localização topográfica (unidades de vertente) e a declividade. Nos topos de interflúvio e planícies fluviais, mais planas, têm-se notadamente áreas com menores susceptibilidades, enquanto nos patamares, quanto mais próximo da escarpa da Chapada do Araripe, e, portanto, com maiores declives, mais alta a susceptibilidade se apresenta.

Em relação à erodibilidade dos materiais superficiais, apesar deste parâmetro ser considerado o de maior influência e receber, assim, maior peso na álgebra de mapas do geoprocessamento, não foi encontrada relação muito próxima, uma vez que áreas com média e alta erodibilidades correspondem à classe de muito baixa susceptibilidade, e a classe de baixa susceptibilidade apresenta ampla gama de erodibilidades (de baixa a alta). Isto deve-se, primordialmente, às diferenças na topografia, onde, como já mencionado, as áreas planas dos topos de interflúvios e planícies fluviais, apresentam menores susceptibilidades apesar de seus materiais superficiais serem altamente erodíveis (em especial, os arenosos com altos índices de silte). Isto ocorre devido à pouca movimentação da água em superfície, uma vez que, além de apresentarem superfícies menos declivosas, nestas áreas a profundidade do material intemperizado é bastante pronunciadas, e sua granulometria predominantemente arenosa, o que facilita a infiltração das águas pluviais.

A forma da encosta apresentou uma correlação mediana com a susceptibilidade, principalmente nas classes com índices mais elevados. Isto ocorre devido à localização destas classes, nitidamente concentradas próximas à escarpa da Chapada do Araripe. Nestas áreas, são encontradas, tanto para as classes de média susceptibilidade quanto para a de alta, as três formas de encostas em quantidades equivalentes. Nas demais classes, apesar da presença das três formas, há uma certa predominância de um ou dois tipos sobre as demais. Assim, na classe com muito baixa susceptibilidade, encontramos as encostas convexas e retilíneas na maior parte da área, o que explica em parte, este grau de susceptibilidade; e na classe de baixa susceptibilidade, o predomínio relativo é do tipo côncavo. Isto indica que, em áreas com declividades menores, a forma da encosta influencia de modo substancial a susceptibilidade, uma vez que estas áreas estão mais afastadas da escarpa da Chapada do Araripe, em terrenos menos declivosos.

A maior parte das cicatrizes erosivas identificadas por fotointerpretação e observações de campo, encontram-se na classe de baixa susceptibilidade natural. Isto pode ser resultado do uso e manejo inadequado do solo destas áreas, potencializando um processo que deveria ser mais lento. Ao observarmos a localização das cicatrizes erosivas, podemos notar que a grande maioria destas desenvolve-se em terrenos naturalmente pouco susceptíveis, mas em áreas periurbanas (notadamente de expansão urbana), sem cobertura vegetal densa e com pouca ou nenhuma infra-estrutura de esgotamento sanitário, calçamento de ruas, etc, o que desprotege o solo da ação da chuva, facilitando a instalação destes processos de forma mais acelerada (figura 1).

O sítio urbano do Crato, primariamente desenvolvido próximo às margens do rio Grangeiro, no pediplano, tem buscado de forma intensa os patamares e topos de interflúvios, tanto nesta unidade quanto na encosta da Chapada do Araripe. Com isso, ocupa áreas de maior susceptibilidade natural aos processos erosivos e conseqüentemente, potencializa-os, a partir da retirada da vegetação primária e/ou secundária e implantação de ruas e loteamentos.

De acordo com as teorias geossistêmica e ecodinâmica, um sistema natural procura sempre se manter em estado de equilíbrio. Tomando por unidade de análise a bacia hidrográfica, temos que a energia advinda das precipitações deve ser dissipada de forma eficiente. Segundo Bak (1997 *in* OLIVEIRA, 1999), o aparecimento de ravinas e voçorocas pode ser

considerado como indício da busca do sistema natural em atingir um novo estado de equilíbrio, quebrado por alguma discrepância entre a energia disponível e sua capacidade em dissipá-la.

Assim, observamos que, em termos gerais, a microbacia do rio Grangeiro apresenta áreas significativas em extensão com muito baixa e/ou baixa susceptibilidade aos processos erosivos superficiais (1.894,62 hectares ou 90,39% do seu território). Porém, isto indica apenas que o sistema físico-ambiental apresenta forte equilíbrio dentro de suas condições *naturais*. Se forem modificadas estas condições, haverá necessidade de encontrar um novo equilíbrio, e é isso que se pode observar nas áreas onde o uso e manejo do solo (seja na forma de adensamento urbano, loteamentos ou atividades rurais como plantio e pastagem) modificou a capacidade de dissipação de energia do sistema natural e provocou uma busca deste a um novo equilíbrio – identificada pela ocorrência de cicatrizes erosivas.

Em tempos de crescimento da preocupação com as condições ambientais em busca da melhoria da qualidade de vida, o uso e ocupação do solo tem sido tema de vasta gama de legislações para seu ordenamento. No tocante às áreas urbanas, o Estatuto da Cidade, lei de 2001, representa a legislação magna específica. Segundo esta lei a política urbana deve, entre outros, estabelecer "*normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental*" (BRASIL, 2001, cap. 1, art. 1º, parágrafo único). Dentre estas normas, está a ordenação e controle do uso do solo, para que se evite, entre outros problemas, a poluição e a degradação ambiental.

Para a aplicação destas normas, foram instituídos alguns instrumentos de política urbana, dentre os quais o Plano Diretor aparece, a nível municipal com mais destaque sendo o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana. Segundo o Estatuto da Cidade, este Plano, obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes, deve ser revisto, pelo menos, a cada dez anos.

O Município do Crato, onde está inserida a microbacia do rio Grangeiro, apesar de contar com mais de cem mil habitantes, segundo último censo (IBGE, 2001), somente no início de 2005 passou a contar com Plano Diretor aprovado na Câmara de Vereadores, apesar de existir uma proposta finalizada desde o ano de 2000, feita por um consórcio de empresas (VBA/Espaço Plano) contratadas pelo Governo do Estado na figura do Projeto de Desenvolvimento Urbano do Estado do Ceará – PROURB-CE, e pela Prefeitura do Crato, na época representada pelo prefeito Moacir Soares de Siqueira (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2000). Este Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU), já com mais de quatro anos de término, precisa agora ser *reavaliado e discutido com os agentes sociais urbanos* pois enquanto não for efetivamente implantado, a microbacia continuará sendo alvo de modificações em seu uso-ocupação que detonam, por vezes exponencialmente, o desequilíbrio energético em seu sistema físico-ambiental, potencializando os processos erosivos superficiais e originando feições muitas vezes perigosas à ocupação de seu território.

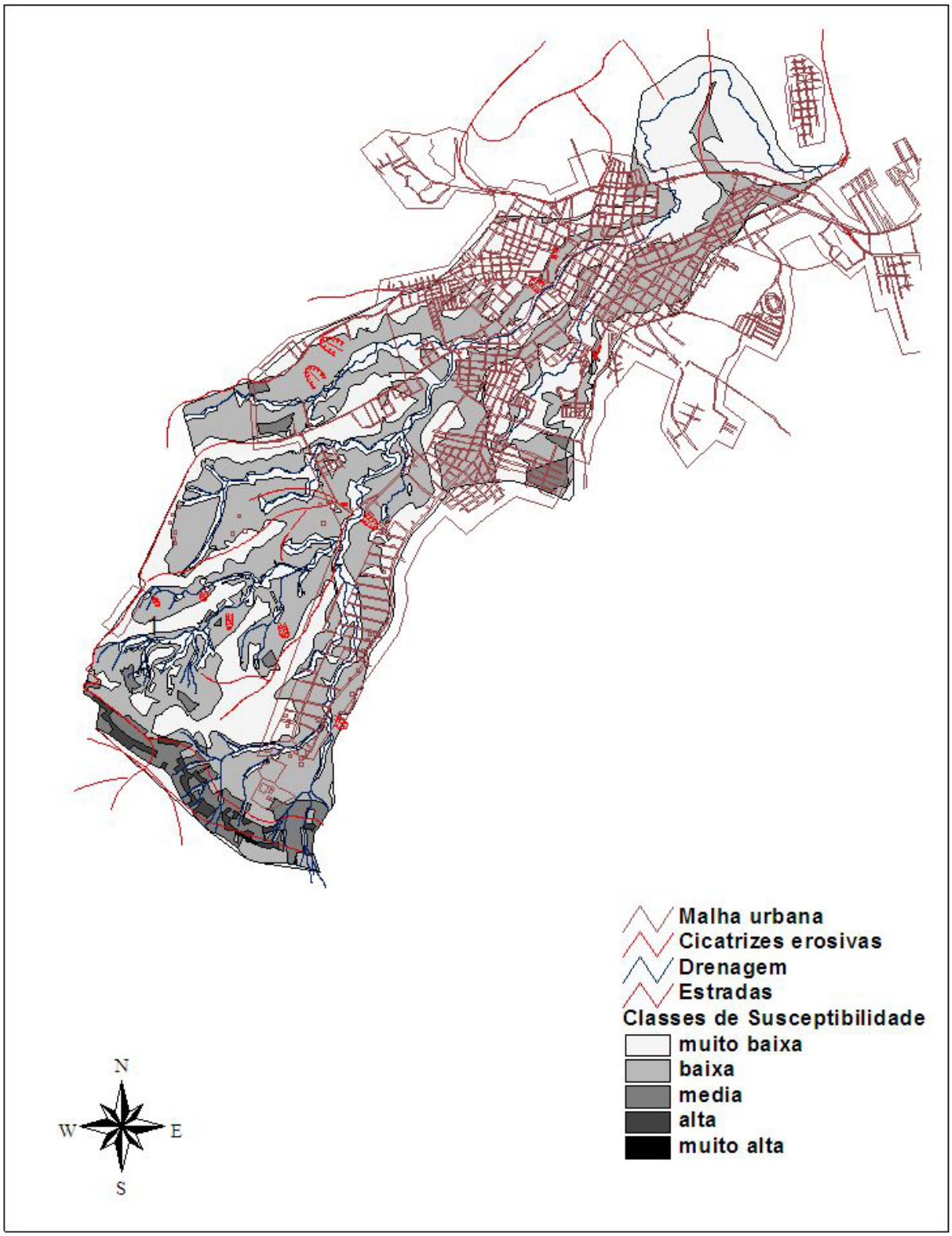

Figura 1: Mapa de susceptibilidade natural aos processos erosivos superficiais na microbacia do rio Grangeiro, Crato/CE

REFERÊNCIAS

BÓLOS, M. de I. Capdevila. Problemática actual de los estúdios de paisaje integrado. **Revista de Geografia**. Barcelona: v. 15, n.1-2, enero-deciembre, 1981. p.45-68.

BOTELHO, R. G. M**. Identificação de unidades ambientais na bacia do rio Cuiabá (Petrópolis – RJ) visando o planejamento de uso do solo**. Rio de Janeiro: UFRJ/PPGG, 1996. (dissertação de Mestrado)

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. *In* GUERRA, A.J. T.; SILVA, A. S. da E BOTELHO, R. G. M. (org**.) Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.269-300.

BOTELHO, R.G.M. e SILVA, A.S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. *In*: VITTE, A.C. e GUERRA, A.J.T. (org.) **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 153-192.

BRASIL. Presidência da Republica. Lei n. 10.257 de 10 de julho de 2001. **Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências**. Brasília, 2001.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo.** São Paulo: Contexto, 1991. (Coleção Ensaios).

CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. *In*: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. da. (org.). **Geomorfologia – uma atualização de bases e conceitos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p.211-252.

EMBRAPA. CNPS. **Manual de métodos de análise de solo.** 2.ed ver.atual. Rio de Janeiro, 1997.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. SEINFRA. PROURBE-CE. Prefeitura Municipal do Crato. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do Município do Crato**. Fortaleza/Crato: Consórcio VBA/espaço Plano, 2000.

GUERRA, A. J. T. e SAMPAIO, J. J. de A. Processos erosivos acelerados, movimentos de massa e assoreamento na cidade do Crato/CE. **Anuário do Instituto de Geociências.** Rio de Janeiro: UFRJ/IGEO, 1996. p.9-20.

GUERRA, A.J.T. Processos erosivos nas encostas. *In*: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. da. (org.). **Geomorfologia – uma atualização de bases e conceitos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p.149-209.

IBGE. **Censo Demográfico**. Rio de Janeiro, 2001.

IPLANCE. **Atlas do Ceará**. Fortaleza: 1989.

JACOMINE, P. K. T. *et al*. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Ceará**. Recife: SUDENE, 1973. v.1.

KOFFLER, N.F. Técnicas de sensoriamento remoto orbital aplicadas ao mapeamento de solos. **Geografia**. Rio Claro, 18(2): 1-51, out.1993.

LEPSCH, I.F. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983.

OLIVEIRA, M.A.T. de. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. *In*: GUERRA, A. J. T. et al. (org.) **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

PRADO, H. **Manual de classificação de solos do Brasil**. Jaboticabal, FUNEP, 1993.

RIBEIRO, S. C. **Dinâmica da paisagem: relação entre os elementos naturais e o uso do solo no Município do Crato/CE (1960-1997)**. Natal: UFRN/CCHLA/DGE, 1997.(Monografia de Especialização.)

ROSS, J.L.S. Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAs. In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. da. (org.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p.291-336.

SIMÕES, M. *et al*. **Metodologia para elaboração do zoneamento ecológico-econômico em área com grande influência antrópica**. Disponível em http://www.eng.uerj.br/~maggie/artigo-zee.pdf. Acesso em 01/03/2003. [**s. d.]**

SOUSA, C. J. da S. de. **Carta de vulnerabilidade à erosão como subsídio ao zoneamento ecológico-econômico em área intensamente antropizada**. São José dos Campos/SP: INPE, 1999. (Dissertação de Mestrado)

SOUZA, C.G. (coord.) **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1994.

SUDENE. **Folha SB. 24 - Y-D-III - CRATO**. Recife: 1972. Escala 1:100.000.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE, 1977.

UNESP. **Aproveitamento hidroagrícola do Estado de São Paulo. Projeto e conservação dos recursos de solo e água e irrigação coletiva nas microbacias hidrográficas dos Córregos Sucuri, Bacuri e Macumã em Palmeira D'Oeste – SP.** São Paulo: Unesp, jul.2000 disponível em http://www.agr.feis.unesp.br/noroeste/noeoeste.htm. Acesso em 15/04/2004.